



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ТҰҢҒЫШ ПРЕЗИДЕНТІ - ЕЛБАСЫНЫҢ ҚОРЫ

«ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ БІЛІМ – 2017»

студенттер мен жас ғалымдардың
XII Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ

XII Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ – 2017»

PROCEEDINGS

of the XII International Scientific Conference
for students and young scholars
«SCIENCE AND EDUCATION - 2017»



14th April 2017, Astana



**ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ**

**«Ғылым және білім - 2017»
студенттер мен жас ғалымдардың
XII Халықаралық ғылыми конференциясының
БАЯНДАМАЛАР ЖИНАҒЫ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ
XII Международной научной конференции
студентов и молодых ученых
«Наука и образование - 2017»**

**PROCEEDINGS
of the XII International Scientific Conference
for students and young scholars
«Science and education - 2017»**

2017 жыл 14 сәуір

Астана

УДК 378

ББК 74.58

Ғ 96

Ғ 96

«Ғылым және білім – 2017» студенттер мен жас ғалымдардың XII Халықаралық ғылыми конференциясы = The XII International Scientific Conference for students and young scholars «Science and education - 2017» = XII Международная научная конференция студентов и молодых ученых «Наука и образование - 2017». – Астана: <http://www.eni.kz/ru/nauka/nauka-i-obrazovanie/>, 2017. – 7466 стр. (қазақша, орысша, ағылшынша).

ISBN 978-9965-31-827-6

Жинаққа студенттердің, магистранттардың, докторанттардың және жас ғалымдардың жаратылыстану-техникалық және гуманитарлық ғылымдардың өзекті мәселелері бойынша баяндамалары енгізілген.

The proceedings are the papers of students, undergraduates, doctoral students and young researchers on topical issues of natural and technical sciences and humanities.

В сборник вошли доклады студентов, магистрантов, докторантов и молодых ученых по актуальным вопросам естественно-технических и гуманитарных наук.

УДК 378

ББК 74.58

ISBN 978-9965-31-827-6

©Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия
ұлттық университеті, 2017

3-сурет. Сақиналы жұмысшы саптамалы бірбеттік ақпалық насосстардың схемасы; 1-активті ақпа; 2-ілеспелі (сорылатын) ағын; 3-алмасу камерасы; 4-активті ақпаның ядросы; 5-ілеспелі ағынның ядросы; 6-шекаралық қабат.

Қолданылған әдебиеттер тізімі

1. Авторское свидетельство № 285602 СССР. Гидроэлеватор, БИ № 33, 1970// А.А.Абдураманов, А.И. Жангарин, М.М. Трусов.
2. Предпатент № 15938KZ. Гидроэлеватор БИ № 7, 2005// М.И. Касабеков, М.М. Касабеков.
3. Абдураманов А.А. Гидравлика гидроциклонов и гидроциклонных насосных установок, Тараз, «Сенім», 2011, 290 с.
4. Жангарин А.И. Гидроциклоны, гидроциклонные водозаборы и песколовки и водопульпоподъемные установки с гидроциклонной приемной камерой. – М., 1975, 31 с.
5. Касабеков М.И. Теоретические и экспериментальные исследования режима работы гидроциклонно-струйных насосных установок. Автореферат дисс.... канд. техн. наук. – Тараз, ТарГУ им. М.Х. Дулати, 2001, 25с.

УДК 517.958:532/533

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АЭРОЗОЛЯ В МИКРОКАПИЛЛЯРЕ С МЕДЛЕННО СХОДЯЩИМСЯ РАДИУСОМ

Енсебек Нәризат Әділқызы

n.yensebek@mail.ru

Магистрант 2 курса специальности математическое и компьютерное моделирование механико-математического факультета ЕНУ им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан.

Жусупова Динара Серикжановна

zhus.dinara@yandex.kz

Старший преподаватель кафедры математического и компьютерного моделирования механико-математического факультета ЕНУ им.Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан.

Научный руководитель – Шалабаева Б.С.

Стремление к миниатюризации электронных устройств, привело к разработке различных процессов для печати проводящих следов на печатных платах (PCB). Осаждение материалов на основе аэрозолей является подмножеством процессов прямой записи и использует направленный аэрозольный пучок твердого или жидкого материала для функций печати. Эта технология активно применяется в микроэлектронике для печати тонких линий, более известной, как прямая запись или прямая печать (direct write).

Micro Cold Spray Direct Write (MCS-DW) представляет собой процесс прямой записи на основе аэрозоля, который откладывает сухой аэрозоль, полученный из металлических порошков. MCS-DW показал, что способен печатать медный, оловянный и алюминиевые порошки (частицы с распределением диаметра от 1 до 5 мкм) на гибких и жестких подложках с печатными функциями размером до 50 мкм [1]. В традиционных процессах прямой печати аэрозоля частицы ускоряются до умеренных скоростей (обычно менее 100 м / с). В то время как в процессе MCS-DW, частицы должны быть ускорены до очень высокой скорости, часто превышающей 500 м/с.

Ранее было изучено движение аэрозоля под действием сил Саффмана, Стокса и Магнуса в микрокапилляре постоянного радиуса[2]. В данной работе было изучение влияние сил Саффмана и Стокса на поток аэрозоля в микрокапилляре с медленно сужающимся радиусом. Медленное сужение диаметра капилляра обеспечивает большую концентрацию движущегося потока к центру капилляра.

Для решения рассматриваемой задачи была составлена математическая модель движения аэрозоля, а также компьютерная модель для наглядной визуализации процесса.

Чтобы моделировать поток аэрозольных частиц необходимо учитывать силы, действующие на эти частицы.

Суммарные силы, действующие на частицы аэрозоля, определяются уравнением

$$\sum F = F_{st} + F_{Ba} + F_{vm} + F_{ps} + F_{gr} + F_{Ma} + F_{Sa} \quad (1)$$

где F_{st} – сила сопротивления Стокса, F_{Ba} – сила Бассета, F_{vm} – сила виртуальной массы, F_{ps} – сила градиента давления, F_{gr} – сила плавучести (сила тяжести), F_{Ma} – подъемная сила Магнуса, и F_{Sa} подъемная сила Саффмана.

Движение аэрозольных частиц в результате этих сил может быть определено с помощью второго закона Ньютона [3]

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho_p \frac{dv_p}{dt} = F_{st} + F_{Sa} \quad (2)$$

где a – радиус частицы, ρ_p – плотность частицы и v_p – скорость частицы.

где F_{st} и F_{Sa} силы Стокса и Саффмана соответственно и представлены в формулах (3) и (4):

$$\begin{aligned} F_{st} &= 6\pi a \mu (v - v_p) \frac{C_{St}}{C_{Kn}}, \\ C_{St} &= \left(1 + \frac{1}{6} \text{Re}_p^{2/3}\right) \left[1 + \exp\left(-\frac{0.427}{\text{Ma}_p^{4.63}} - \frac{3}{\text{Re}_p^{0.88}}\right)\right], \\ C_{Kn} &= 1 + \text{Kn}_p \left[2.57 + 0.68 \exp\left(-\frac{1.86}{\text{Kn}_p}\right)\right]. \end{aligned} \quad (3)$$

где v и v_p вектор скорости жидкости и частиц, а C_{St} и C_{Kn} — поправочные коэффициенты. Функция C_{St} учитывает отклонение сопротивляющихся частиц по закону Стокса. Функция C_{Kn} учитывает отклонение сопротивляющихся частиц по закону Стокса согласно с числом Кнудсена, Kn_p .

Сила Саффмана определяется следующим образом:

$$F_{Sa} = 6.46a^2 (u - u_p) \sqrt{p_f \mu_f} \frac{|du|}{|dy|} \text{sign}\left(\frac{du}{dy} e_y\right) \quad (4)$$

где значение 6,46 – константа в численном интегрировании определенная в приложении Саффмана, u – это осевая составляющая скорости газа и u_p – осевая компонента скорости частиц [4].

$$C_{Sa} = \begin{cases} 0.23434[1 - \exp(-0.1 \text{Re}_p)] \frac{\text{Re}_f}{\text{Re}_p} + \exp(-0.1 \text{Re}_p) & \text{Re}_p < 40 \\ 0.0371 \text{Re}_f^{1/2} & \text{Re}_p \geq 40 \end{cases} \quad (5)$$

Функция C_{Sa} учитывает отклонение подъемной силы частицы по закону Саффмана уравнение (4) за счет конечного числа Рейнольдса.

Таким образом, математическая модель движения частицы в микрокапилляре выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned}
\frac{d\bar{x}_p}{d\bar{t}} &= \bar{u}_p, & \frac{d\bar{r}_p}{d\bar{t}} &= \bar{v}_p, \\
\frac{d\bar{u}_p}{d\bar{t}} &= \frac{C_{St}}{C_{Kn}} (\bar{u} - \bar{u}_p), & \frac{d\bar{v}_p}{d\bar{t}} &= \frac{C_{St}}{C_{Kn}} (\bar{v} - \bar{v}_p) - \kappa C_{Sa} (\bar{u} - \bar{u}_p) \frac{\sqrt{\bar{r}_p}}{\bar{R}^2(\bar{x}_p)}, \\
\bar{u} &= \varepsilon S \frac{\bar{R}^2(\bar{x}_p) - \bar{r}_p^2}{\bar{R}^4(\bar{x}_p)}, & \bar{R}(\bar{x}_p) &= 1 - \frac{R_1 - R_2}{L} \bar{x}_p
\end{aligned} \quad (6)$$

где ε - геометрический параметр:

$$\varepsilon = \frac{R}{L} \quad (7)$$

S - число Стокса

$$S = \frac{\tau_\mu u_{\max}}{R} \quad (8)$$

$u_{\max}$ - максимальная скорость частиц аэрозоля, выражаемая следующей формулой:

$$u_{\max} = \frac{2Q}{R(x)}, \quad R(x) = R_1 - \frac{R_1 - R_2}{L} x \quad (9)$$

κ - безразмерный параметр, отвечающий за влияние сил Саффмана движущихся частиц в потоке аэрозоля

$$\kappa = \frac{3.23}{\pi \varepsilon} \sqrt{\frac{S}{\delta}}, \quad \delta = \frac{\rho_p}{\rho} \quad (10)$$

На рисунке 1 показана геометрия сопла, предложенного для процесса MCS-DW (Micro Cold Spray Direct Write). Рассматривалось сопло с медленно сходящимся радиусом. Сопло имеет входное и выходное отверстия радиусом 400 мкм, внутренний радиус в момент сужения равен 100 мкм. Длина сопла равна 39 мкм.

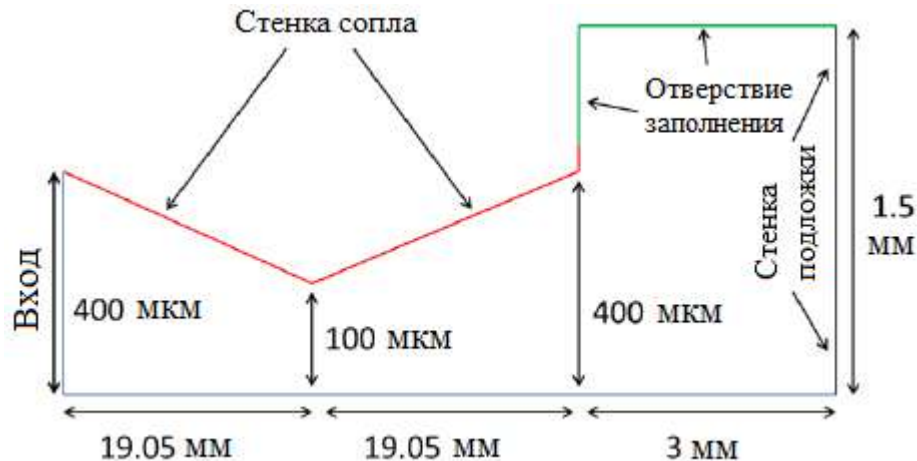


Рисунок 1. Иллюстрация микрокапилляра с медленно сходящимся радиусом

Ранее нами было изучено влияние сил Самана и Стокса на моделирование потока аэрозоля в микрокапилляре постоянного радиуса. В ходе изучения была получена математическая модель данного процесса, а последующая компьютерная модель, составленная на основе математической, показала заметное сходство с результатом лабораторного эксперимента в университете северной Дакоты под руководством профессоров Ахатова И.Ш. и J.M. Ноеу [5]. На данном этапе исследования в программе Wolfram Mathematica была получена траектория движения аэрозоля в микрокапилляре с

медленно сужающимся радиусом.

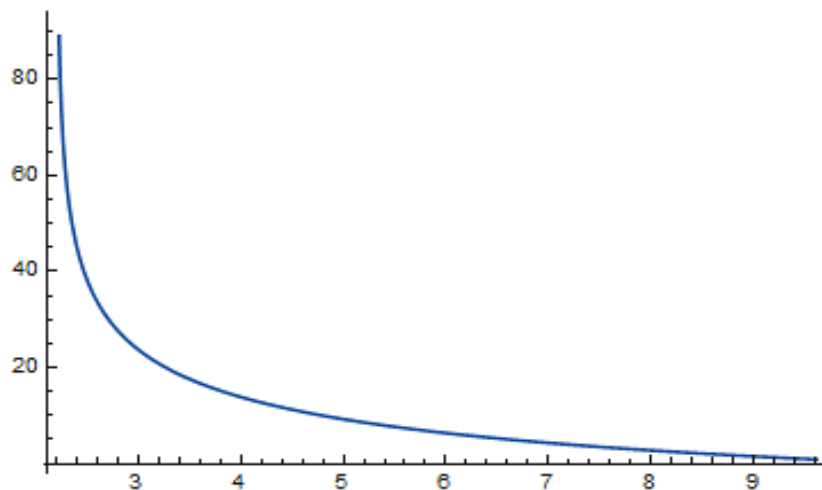


Рисунок 2. Траектория движения аэрозоля в медленно сходящемся капилляре

Как показано на рисунке 2 за счет сужения диаметра капилляра частицы аэрозоля фокусируются к центру капилляра лучше и быстрее, нежели в микроканале постоянного радиуса. Благодаря своему дизайну рассматриваемое сопло позволит образоваться тонкому пучку аэрозоля, движущегося по оси, соответственно с максимальной скоростью, и сохранить ее еще некоторое расстояние при выходе из сопла капилляра.

В данной работе представлена математическая модель движения аэрозольного потока в микрокапилляре. Изложена методика расчета движения аэрозольной частицы в микрокапилляре и проведен анализ между действием сил Стокса и сил Саффмана для аэрозольных потоков. А также численно решена задача о движении частицы в микрокапилляре медленно сходящегося радиуса.

Список использованных источников

1. V.K. Champagne, "Cold Spray Material Deposition Process: Fundamentals and Applications", Woodhead/CRC Press, 2007
2. Енсебек Н. Э. Шалабаева Б.С. Действие сил Стокса, Саффмана и Магнуса при моделировании движения аэрозоля в микрокапилляре постоянного радиуса/«Актуальные вопросы механики и математики», посвященной 20-летию ЕНУ им.Л.Н. Гумилева и 10-летию основания кафедры «Механика» ММФ ЕНУ им. Л.Н. Гумилева. Астана, 14-15 окт. 2016 г, с. 204-208. ISBN 998-601-301-808-9
3. Fernandez de la Mora, J., Rosell-Llompart, J. & Riesco-Chueca, P. (1989). Aerodynamic focusing of particles and molecules in seeded supersonic jets. In E.P. Muntz, D.P. Weaver, D.H. Campbell (Eds.), Progress in astronautics and aeronautics. Vol. 117. rarefied gas dynamics: physical phenomena p.247–276.
4. Hoey, J. M., Akhatov, I. S., Swenson, O. F. & Schulz, D. L. (2007). Focusing of aerosol particles. U.S. Provisional Patent Application # 60/956, p. 493
5. I.S. Akhatov, J.M. Hoey, O.F. Swenson, D.L. Schulz (2008). Aerosol focusing in micro-capillaries: Theory and experiment. Aerosol Science 39, p. 691 – 709